

## Verfahren zum Berechnen eines individuellen Progressivglases

### BESCHREIBUNG

- 5 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Berechnen eines individuellen Progressivglases.

Unter progressiven Brillengläsern (auch als Gleitsichtgläser, Multifokalgläser, etc. bezeichnet) versteht man  
10 üblicherweise Brillengläser, die in dem Bereich, durch den der Brillenträger einen in größerer Entfernung befindlichen Gegenstand betrachtet - im folgenden als Fern-  
teil bezeichnet -, eine andere (geringere) Brechkraft haben als in dem Bereich (Nahteil), durch den der Brillen-  
15 träger einen nahen Gegenstand betrachtet. Zwischen dem Fernteil und dem Nahteil ist die sogenannte Progressionszone angeordnet, in der die Wirkung des Brillenglases von der des Fernteils kontinuierlich auf die des Nahteils ansteigt. Den Wert des Wirkungsanstiegs bezeichnet man auch  
20 als Addition.

In der Regel ist der Fernteil im oberen Teil des Brillenglases angeordnet und für den Blicken „ins Unendliche“ ausgelegt, während der Nahteil im unteren Bereich ange-  
25 ordnet ist, und insbesondere zum Lesen ausgelegt ist. Für Spezialanwendungen - genannt werden sollen hier exemplarisch Pilotenbrillen oder Brillen für Bildschirmarbeitsplätze - können der Fern- und der Nahteil auch anders angeordnet sein und/oder für andere Entfernungen ausgelegt  
30 sein.

Ferner ist es möglich, dass mehrere Nahteile und/oder mehrere Fernteile und entsprechende Progressionszonen vorhanden sind.

- 5 Bei progressiven Brillengläsern mit konstantem Brechungsindex ist es für die Zunahme der Brechkraft zwischen dem Fernteil und dem Nahteil erforderlich, dass sich die Krümmung einer oder beider Flächen vom Fernteil zum Nahteil kontinuierlich ändert.

10

Die Flächen von Brillengläsern werden üblicherweise durch die sogenannten Hauptkrümmungsradien  $R_1$  und  $R_2$  in jedem Punkt der Fläche charakterisiert. (Manchmal werden anstelle der Hauptkrümmungsradien auch die sogenannten Hauptkrümmungen  $K_1 = 1/R_1$  und  $K_2 = 1/R_2$  angegeben). Die Hauptkrümmungsradien bestimmen zusammen mit dem Brechungsindex  $n$  des Glasmaterials die für die augenoptische Charakterisierung einer Fläche häufig verwendeten Größen:

15

- 20 Flächenbrechwert  $D = 0,5 * (n-1) * (1/R_1 + 1/R_2)$ .

Flächenastigmatismus  $A = (n-1) * (1/R_1 - 1/R_2)$ .

25

Der Flächenbrechwert  $D$  ist die Größe, über die die Zunahme der Wirkung vom Fernteil zum Nahteil erreicht wird.

Der Flächenastigmatismus  $A$  (anschaulich Zylinderwirkung) ist eine „störende Eigenschaft“, da ein Astigmatismus - sofern das Auge nicht selbst einen zu korrigierenden Astigmatismus aufweist - , der einen Wert von ca. 0,5 dpt übersteigt, zu einem als unscharf wahrgenommenen Bild auf der Netzhaut führt.

30

In der WO 01/81979 wird ein Verfahren zum Berechnen eines progressiven Brillenglases angegeben, bei dem entlang einer Linie (Hauptlinie) bestimmte Eigenschaften vom Brechwert und Astigmatismus vorliegen und diese Linie mit  
5 der Hauptblicklinie übereinstimmt.

Für die Berechnung von individuellen Brillengläsern muß die Optimierung innerhalb sehr kurzer Zeit erfolgen, da aufgrund der großen Vielfalt von Wirkungskombinationen  
10 diese nur auf Bestellung berechnet werden können.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren anzugeben, mit dem in sehr kurzer Zeit individuelle Progressivgläser berechnet und optimiert werden, wobei bei den Progressiv-  
15 gläsern entlang der Hauptblicklinie optimale Eigenschaften vorliegen, d. h. dass Hauptlinie und Hauptblicklinie zusammenfallen und alle individuellen Parameter berücksichtigt werden.

20 Die Aufgabe wird durch den kennzeichnenden Teil des Anspruchs 1 gelöst. Es wird ein Verfahren angegeben, das durch die folgenden Schritte gekennzeichnet ist:

- 25 - Erzeugen eines oder mehrerer Grunddesigns an Brillengläsern anhand theoretischer Vorgaben,
- Erzeugen von Startdesigns aus diesen Grunddesigns,
- Berechnen von individuellen Progressivgläsern aus den Startdesigns, die individuellen Daten von Trägerversuchspersonen entsprechen,
- 30 - Erstellen der endgültigen Startdesigns für die Produktion und

- Berechnen der individuellen Brillengläser aus den Startdesigns nach individuellen Kundendaten.

5     Zunächst wird ein Grunddesign bzw. eine Reihe von Grund-  
designs erzeugt. Diese werden aufgrund der theoretischen  
Daten analysiert. Die Grunddesigns werden dann solange  
geändert und angepasst, bis sie den Vorgaben (z. B. aus  
Grundsatzuntersuchungen oder Trageversuchen) entsprechen.  
10   Dieses Grunddesign wird für eine schwache Wirkung und De-  
fault- oder Standardwerte, die weiter unten beschrieben  
sind, berechnet. Im Prinzip kann ein solches Grunddesign  
mit einem Verfahren, das in der WO 01/81979 beschrieben  
ist, erzeugt werden.

15

Im nächsten Schritt werden aus den Grunddesigns sogenann-  
te Startdesigns erzeugt. Startdesigns sind eine begrenzte  
Anzahl von Progressivgläsern, die für Defaultwerte der  
individuellen Parameter berechnet wurden und den Wir-  
kungsbereich abdecken. Werden nur wenige Brillengläser  
20   für das Startdesign bereitgestellt, so ist der Aufwand  
viel geringer. Allerdings kann man dann noch schlechter  
auf die verschiedenen Anforderungen von Hyperopen, Myopen  
usw. eingehen und der Aufwand bei der Optimierung der in-  
dividuellen Progressivgläser wird größer. Aus diesem  
25   Grund wird man, wenn man verschiedene Grunddesigns ( in  
der Regel 3 - 4) in Trageversuchen gegeneinander testen  
will, das Startdesign niedrig besetzen. Das endgültige  
Startdesign für die Produktion wird dann in der Regel  
30   eher dicht besetzt sein.

Dies kann im Extremfall ein einziges Grunddesign sein. Jedoch wird man in der Regel aber mindestens eine Serie für Myopie, eine Serie für Emmetropie und eine Serie für Hyperopie bereitstellen.

5

In der nachfolgenden Tabelle ist ein Beispiel angegeben:

Sph/Add [dpt]	-4	0	+4
1,5	+	+	+
2,0	+	+	+
2,5	+	+	+

10 Für die Berechnung und Optimierung der Progressivgläser werden durchschnittliche Individualparameter berücksichtigt, in der Regel die nachfolgenden Werte:

Verordneter Zylinder = 0 dpt; Prisma vertikal und horizontal = 0 cm/m;

15 Definition der Wirkung in den Bezugspunkten (Gebrauchsstellung, Scheitelmessung etc.);

Pupillendistanz = 63 mm; Hornhautscheitelabstand = 15 mm;

Augendrehpunktsabstand = 28,5 mm; Vorneigung = 8 Grad;

Fassungsscheibenwinkel (Seitenneigung) = 0 Grad;

20 Mittendicke oder Randdicke variiert in Abhängigkeit von Verordnung, Addition und Durchmesser;

Durchmesser = 70 mm;

Dickenreduktionsprisma variiert in Abhängigkeit von Verordnung, Addition und Durchmesser; Material = Material

25 mit mittlerem Brechungsindex;

Objektabstand in der Ferne = 0 dpt; Objektabstand in der Nähe = -1000/380 mm oder Objektabstand in der Nähe = -Add (für Add > 2,5 dpt);

Die Basiskurve (Form (i.d.R. eine Sphäre) und Durchbiegung (Brechwert) der zweiten Fläche) variiert in Abhängigkeit von Verordnung, Addition und Durchmesser.

- 5 Aus diesen Startdesigns werden die Progressivgläser berechnet, die den individuellen Daten der Trageversuchspersonen entsprechen. Das Verfahren zur Berechnung wird weiter unten beschrieben.
- 10 Als Alternative kann man auch alle Brillengläser für Trageversuche mit dem Verfahren, welches in der WO 01/81979 beschrieben ist, berechnen.

15 In einem zweiten Designloop kann man aufgrund der Trageversuche das Design entsprechend abändern und anpassen. In einer ersten Phase werden die verschiedenen Startdesigns in einem internen Trageversuch mit einer kleineren Anzahl von Probanden getestet. In einer zweiten Phase werden externe Trageversuche mit einer relativ großen

20 Probandenzahl durchgeführt. Somit ergeben sich im Prinzip drei Designloops.

Wenn man das endgültige Design gefunden hat, muss man das Startdesign für die Produktion erstellen. Dies wählt man

25 normalerweise dichter als die Startdesigns für den Trageversuch.

In der nachfolgenden Tabelle ist ein Beispiel angegeben, wobei für alle dargestellten Wirkungen Startdesigns erstellt werden:

30

Sph/Add [dpt]	-10	-5	-1	+2	+5	+8
1,0	+	+	+	+	+	+
1,5	+	+	+	+	+	+
2,0	+	+	+	+	+	+
2,5	+	+	+	+	+	+
3,0	+	+	+	+	+	+

5 Im nachfolgenden wird das Berechnungsverfahren näher erläutert:

Zunächst müssen vom Startdesign alle Parameter des Brillenglases abgespeichert werden. Dies beinhaltet neben dem  
 10 bereits genannten individuellen Parametern noch die folgenden:

Flächendaten der progressiven Fläche;  
 Koordinaten der Bezugspunkte; Objektabstandsmodell als  
 15 Funktion der Durchblickpunkte;  
 Akkomodationsmodell als Funktion des Objektabstandes;  
 Verlauf der Hauptlinie (in der WO 01/81979 beschrieben)  
 und alle Sollvorgaben an allen Bewertungsstellen (Durchblickstellen).

20

Die progressive Fläche wird am besten mittels B-Splines beschrieben. Als freie Parameter hat man die Ordnung der Splines und die Anzahl der Koeffizienten. Je höher die  
 Ordnung der Splines ist, desto feiner kann ein Intervall  
 25 beschrieben werden, aber desto mehr neigen die Splines

auch zur Schwingung. Aus diesem Grund bevorzugt man Splines 4. Ordnung oder insbesondere kubische Splines. Auch läßt sich durch die Anzahl der Koeffizienten steuern, wie variabel man eine Fläche beschreiben kann.

5

Jedoch steigt mit der Anzahl der Koeffizienten direkt die Komplexität des Optimierungsproblems und damit auch die Rechenzeit. Dennoch hat sich eine große Zahl von Koeffizienten (ca. 4.000) bewährt. Die Optimierung eines progressiven Brillenglases erfolgt in der Regel durch die Minimierung einer Zielfunktion. Die Zielfunktion kann beispielsweise wie folgt aussehen:

10

$$\min \sum g a_i (A_{ist} - A_{soll})_i^2 + g b_i (B_{ist} - B_{soll})_i^2 \dots$$

15

Dabei sind A, B usw. die zu optimierenden Eigenschaften wie Astigmatismus, Brechwert, Verzeichnung, binokulare Imbalancen, Gradienten von Astigmatismus und Brechwert, Verzerrungen usw. Allerdings ist es ungünstig, wenn man zu viele Eigenschaften in die Zielfunktion schreibt, da ein Progressivglas schon aufgrund eines Streifens zweiter Ordnung und einer Vorgabefunktion über das ganze Brillenglas beschrieben ist. Aus diesem Grund erschweren zu viele Eigenschaften die Optimierung aufgrund von möglichen widersprüchlichen Forderungen in der Zielfunktion. Deshalb sind zwei Eigenschaften in der Zielfunktion ausreichend. Andere Eigenschaften können später im Designloop über die Auswertung kontrolliert und eingestellt werden.

30

Zusätzlich kann jede Eigenschaft ortsabhängig über die Bewertungsstelle i gewichtet werden. So ist es möglich,



eine Eigenschaft gegenüber der anderen Eigenschaft zu gewichten und zum anderen aber auch ortsabhängig zu gewichten, beispielsweise den Astigmatismus in der Ferne höher als in der Nähe.

5

Je mehr Bewertungsstellen man hat, desto länger dauert die Optimierung, weil an jeder Bewertungsstelle mittels Strahlen - und lokaler Wellenfrontdurchrechnung die entsprechenden Eigenschaften berechnet werden müssen. Jedoch  
10 ist es klar, dass mit vielen Bewertungsstellen das Brillenglas bzw. die Optimierung des Brillenglases viel besser und exakter gesteuert werden kann. Deshalb bevorzugt man die Verwendung von vielen Bewertungsstellen; in der Regel sind dies ca. 15.000 Bewertungsstellen.

15

Des weiteren ist es vorteilhaft, wenn sowohl die Koeffizienten als auch die Bewertungsstellen nicht äquidistant über das Brillenglas gleichverteilt sind, sondern in Bereichen, bei denen größere Änderungen der Eigenschaften  
20 vorliegen oder bei Bereichen, denen eine höhere Bedeutung zugemessen wird, die Anzahl der Bewertungsstellen bzw. Koeffizienten zu erhöhen.

Es ist wichtig, dass man die Sollvorgaben nicht als absolute Werte vorgibt sondern als Abweichungen oder zulässige Fehler. Im folgenden wird ein Beispiel angegeben:  
25

Man möchte ein Progressivglas mit den Werten Sph 0,5 zyl 1,0 A 0 Grad Add 2,0 optimieren. Wenn man Absolutwerte  
30 vorgeben möchte, würde man z. B. im Fernbezugspunkt fordern: Soll Sph 0,5 zyl 1,0 A 0 Grad und im Nahbezugspunkt Soll Sph 2,5 zyl 1,0 A 0 Grad, da hier das Brillenglas

exakt den Forderungen entsprechen soll. Dagegen würde man in der Peripherie Soll Sph 1,5 zyl 2,0 A 45 Grad fordern.

- Die Sollvorgaben müssen immer sehr nahe am Ziel liegen
- 5 und bei Progressivgläsern hat man in der Peripherie zwangsweise höhere Abbildungsfehler. Somit wird deutlich, wie wichtig geeignete Sollvorgaben für die Berechnung und Optimierung eines Progressivglases sind.
- 10 Werden Absolutwerte vorgegeben, muß man für jede Verordnung eigene Sollvorgaben bereitstellen. Dies ist insbesondere bei der Optimierung von individuellen Progressivgläsern von Nachteil.
- 15 Aus diesem Grund ist es besser, die Istwerte des Brillenglases mit dem Refraktionsdefizit des Auges zu kombinieren und anschließend mit den Sollvorgaben zu vergleichen. Die Kombination mit dem Auge erfolgt dabei am besten mit der Kreuzzylindermethode, die beispielsweise in
- 20 der WO 01/81979 beschrieben ist. Dann würden die Sollvorgaben im obigen Beispiel im Fern- und Nahbezugspunkt, nämlich der Refraktionsfehler<sub>Soll</sub> und astigmatische Abweichung<sub>Soll</sub> 0 dpt betragen und in der Peripherie (beispielshaft) der Refraktionsfehler<sub>Soll</sub> 1,0 dpt und die astigmati-
- 25 sche Abweichung<sub>Soll</sub> 1,25 dpt. Die Achslage würde somit aufgrund der Kreuzzylindermethode berücksichtigt werden. Somit ist man mit diesen Sollvorgaben von der Verordnung unabhängig. Die Unterschiede in den Sollvorgaben bzgl. Emmetropie, Myopie etc. erhält man über die unterschied-
- 30 lichen Sollvorgaben bei den unterschiedlichen Wirkungen des Startdesigns. Dabei haben sich die astigmatische Ab-

weichung und der Refraktionsfehler als geeignete Vorgaben erwiesen.

Weiter wesentlich ist, dass man die Bewertungsstellen  
5 nicht mit den kartesischen Koordinaten  $x$  und  $y$  abspeichert, sondern mit den Koordinaten  $u$  und  $y$ , wobei  $u$  der Abstand der Bewertungsstelle von der Hauptlinie ist, also  $u = x - x_{HL}(y)$ . Dies ist wichtig, um bei der Berechnung des individuellen Brillenglases die Sollvorgaben auf einfache  
10 weise, an die neue Hauptblicklinie anpassen zu können.

Im nächsten Schritt werden die Startdesigns für die Produktion erstellt.

15

Danach erfolgt die Berechnung der individuellen Brillengläser aus dem Startdesign nach individuellen Kundendaten.

20 Über eine Eingabemaske (bei Trageversuchen) oder bei der Online-Optimierung im Produktionsprozeß über eine Schnittstelle erhält das Berechnungsprogramm die neuen Individualparameter. Diese sind alle bereits genannten Parameter. Aufgrund der verordneten sphärischen Wirkung  
25 und der Addition wird aus dem Startdesign das nächstliegende Startglas mit allen Parametern und Sollvorgaben ausgewählt. Das zu optimierende Brillenglas wird mit dem ausgewählten Startglas gleichgesetzt und danach werden die Individualparameter des Startglases durch die neuen  
30 Parameter ersetzt, insbesondere durch die verordneten sphärischen, zylindrischen und prismatischen Werte, die Addition und das Dickenreduktionsprisma.

Danach wird das Objektabstands- und Akkommodationsmodell neu berechnet.

5     Danach wird das Brillenglas entsprechend den neuen Individualparametern (Pupillendistanz, Hornhautscheitelabstand, Augendrehpunktsabstand, Vorneigung und Seitenneigung) im Raum bzw. gegenüber dem Auge angeordnet.

10    Im nächsten Schritt werden das Material (Brechungsindex), der Durchmesser bzw. die Fassungsform und die Basiskurve ausgetauscht.

15    Danach wird die progressive Fläche mit einer atorischen Fläche überlagert. Die atorische Fläche wird so berechnet, dass im Fernbezugspunkt die sphärische und zylindrische Wirkung inklusive Achslage, vorzugsweise in der Gebrauchsstellung, der Verordnung entspricht, im Prismenbezugspunkt das Vertikal- und Horizontalprisma, vorzugsweise in der Gebrauchsstellung, der Kombination aus verordnetem Prisma und Dickenreduktionsprisma entspricht und  
20    die Mitten- bzw. Randdicke dem Vorgabewert entspricht. Dies wird am besten mit einem Iterationsverfahren (z. B. Newton'sche Iteration mit 6 Variablen) erreicht. Die 6 Freiheitsgrade sind hierbei die beiden Hauptkrümmungen  
25    und die Achslage der atorischen Fläche, die Flächennormale (x- und y-Komponente) im Scheitel der gesamten progressiven Fläche und der Abstand der Vorder- zur Rückfläche.

30    Somit erhält man ein Progressivglas, dessen Qualität dem eines konventionellen Progressivglases entspricht, mit

der Ausnahme, dass sich die progressive und astigmatistische Wirkung auf einer Seite befindet.

Es ist selbstverständlich auch möglich, die Überlagerung auf der nicht-progressiven Seite durchzuführen und diese  
5 dann zu optimieren. Dann erhält man ein individuelles Brillenglas mit einer progressiven Fläche und einer individuellen atorischen Fläche. Weiter ist es möglich, die Basisfläche torisch zu gestalten, die dann in erster Linie den verordneten Astigmatismus aufbringt und die progressive Fläche noch zusätzlich mit einem Korrektions-  
10 torus zu überlagern und diese Überlagerungsfläche dann entsprechend zu optimieren. Dann wird ein individuelles Brillenglas mit einer individuellen progressiven Fläche und einer torischen Fläche erhalten. Dabei kann sich die  
15 progressive Fläche entweder vorne oder hinten befinden.

Allerdings ist es bevorzugt, dass die Vorderfläche sphärisch oder zumindest rotationssymmetrisch ist und die Rückfläche eine individuelle progressive Fläche ist, die  
20 das gesamte Rezept, bestehend aus sphärischer und zylindrischer Verordnung und der Addition trägt, da dann die anamorphotische Verzerrung am geringsten ist (vgl. Auge und Brille, Bücherei des Augenarztes, Band 59 von Josef Reiner). Im nachfolgenden wird von dieser Variante ausge-  
25 gangen. Jedoch ist das Verfahren auch auf alle anderen bereits beschriebenen Verfahrensvarianten anwendbar.

Im nächsten Schritt wandelt man die berechnete atorische Fläche in einen B-Spline, einem sogenannten Überlagerungs-  
30 spline oder Optimierungsspline um. Auch ist es möglich, aus der atorischen Überlagerungsfläche und der darunter liegenden progressiven Fläche einen neuen B-Spline zu be-

rechnen. Allerdings ist es günstiger, einen Überlagerungsspline zu verwenden.

Denn dann kann man die Anzahl der zu optimierenden Koeffizienten unabhängig von der darunter liegenden Basisfläche (progressive Fläche) wählen, ohne dass man Informationen verliert und die zu optimierende Fläche muß weniger Informationen tragen. Allerdings ist dies nur für die Optimierung der Koeffizienten von Bedeutung. Die Pfeilhöhe der Rückfläche entspricht immer der Summe aus der Basisfläche und dem Überlagerungsspline. Bei der Optimierung wird immer sowohl bei der Strahlen- als auch bei der Wellenfrontdurchrechnung die komplette Rückfläche berücksichtigt.

Im nächsten Schritt wird die Hauptblicklinie neu berechnet, da sie aufgrund der geänderten Positionierung des Brillenglases zum Auge und der geänderten prismatischen Wirkung in den Durchblickstellen von der alten Haupt- bzw. Hauptblicklinie abweicht.

Danach verschiebt man die Sollvorgaben um den Betrag, um welche die neue Hauptblicklinie gegenüber der alten Hauptblicklinie in jedem Horizontalschritt verschoben worden ist, d. h. jede Sollvorgabe erhält eine neue zugehörige u-Koordinate. Würde beispielsweise der x-Versatz der Hauptblicklinie auf Höhe des Nahbezugspunktes nun 3 statt 2 mm betragen, so würden sich die u-Koordinaten in diesem Horizontalschnitt um 1 mm verschieben. Es ist bevorzugt, dass die Sollvorgaben nicht von einem Startglas genommen werden, sondern entsprechend der Wirkung aus den benachbarten Brillengläsern des Startdesigns interpoliert werden.

Im nächsten Schritt optimiert man die progressive Fläche entweder mit einem käuflichen Optimierungsprogramm (z.B. aus der NAG-Bibliothek) oder mit einem Optimierungsprogramm, welches speziell auf das Problem und die verwendete Flächendarstellung abgestimmt ist. Hierbei ist letzteres bevorzugt. Meist hat man schon nach drei Optimierungsschritten das Ziel erreicht. Jedoch ist es besser, wenn sicherheitshalber 10 Optimierungsschritte durchgeführt werden. Eine solche Optimierung benötigt aufgrund des idealen Startpunktes und der idealen Sollvorgaben und dem ideal abgestimmten Optimierer auf einem normalen PC (z. B. Intel Pentium 4 Prozessor mit 1800 MHz) weniger als 30 Sekunden.

Es wäre auch möglich, alle Online optimierten Flächen abzuspeichern, um dann bei gleichen individuellen Bestelldaten nicht nochmals optimieren zu müssen. Allerdings hat es sich gezeigt, dass das beschriebene Verfahren so stabil, schnell und zuverlässig ist, dass ein Suchalgorithmus aufwendiger wäre als einfach jede Verordnung neu zu berechnen.

Es hat sich als vorteilhaft herausgestellt, nicht die ganze Fläche des Brillenglases zu optimieren, sondern nur einen zentralen Bereich (ca. 20 - 30 mm) und diesen dann mit einem speziell entwickelten Extrapolationsprogramm zu erweitern. Dadurch kann man Rechenzeit einsparen, ohne dass die Qualität beeinflusst wird.

Die Erfindung wird nachstehend ohne Beschränkung des allgemeinen Erfindungsgedankens anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die Zeichnungen exemplarisch beschrieben, auf die im übrigen hinsichtlich der Offenbarung aller im Text nicht näher erläuterten erfindungsgemäßen Einzelheiten ausdrücklich verwiesen wird. Es zeigen:

Fig. 1: die Verteilung des Sehschärfeabfalls aufgrund der Abbildungsfehler bei einem progressiven Brillenglas aus dem Startdesign,

Fig. 2: die Verteilung des Sehschärfeabfalls aufgrund der Abbildungsfehler bei einem progressivem Brillenglas nach der Überlagerung mit einem Torus,

Fig. 3: die Verteilung des Sehschärfeabfalls aufgrund der Abbildungsfehler bei einem progressiven Brillenglas nach der Optimierung,

Fig. 4: einen Ablaufplan des Verfahrens und

Fig. 5: den Ablaufplan des Online-Optimierungs- und -Berechnungsverfahrens.

In Fig. 1 wurden folgende Standardwerte verwendet:

Verordnete Sphäre = -4,0 dpt; Addition 2,0 dpt; Verordneter Zylinder = 0 dpt; Prisma vertikal und horizontal = 0 cm/m;



Wirkung in den Bezugspunkten in der Gebrauchsstellung;  
Pupillendistanz = 63 mm; Hornhautscheitelabstand = 15 mm;  
Augendrehpunktsabstand = 28,5 mm; Vorneigung = 8 Grad;  
Fassungsscheibenwinkel (Seitenneigung) = 0 Grad; Mitten-  
5 dicke = 2 mm; Durchmesser = 70 mm; Dickenreduktionsprisma  
= 1,0 cm/m; Material = Perfalit 1,6  $n = 1,597$ ; Objektab-  
stand in der Ferne = 0 dpt; Objektabstand in der Nähe =  
-1000/380 mm; Basiskurve sph = 3,41 dpt. In Fig. 1 ist zu  
erkennen, dass die Isolinien vollständig symmetrisch zur  
10 Hauptlinie verlaufen und überall ein gleichmäßiger und  
weicher Übergang besteht und große Fern- und Nahsehberei-  
che vorliegen. So sollte auch ein Brillenglas mit abwei-  
chenden Individualparametern aussehen.

15 In Fig. 2 werden folgende Individualparameter vorgegeben:

Verordnete Sphäre = -3,5 dpt; Addition = 2,0 dpt; Verord-  
neter Zylinder = 1 dpt; Achslage = 20 Grad; Prisma verti-  
kal = 0,5 cm/m; Prisma horizontal = 1,0 cm/m;  
20 Wirkung in den Bezugspunkten in der Gebrauchsstellung;  
Pupillendistanz = 72 mm; Hornhautscheitelabstand = 19 mm;  
Augendrehpunktsabstand = 32,5 mm; Vorneigung = 11 Grad;  
Fassungsscheibenwinkel (Seitenneigung) = 1 Grad; Mitten-  
dicke = 2 mm; Durchmesser = 70 mm; Dickenreduktionsprisma  
25 = 1,0 cm/m; Material = Perfalit = 1,6  $n = 1,597$ ; Ob-  
jektabstand in der Ferne = 0 dpt; Objektabstand in der  
Nähe = -1000/380 mm; Basiskurve sph = 3,7 dpt.

Wie aus Fig. 2 zu erkennen ist, verlaufen die Isolienie  
nicht mehr symmetrisch zur Hauptlinie, die Übergänge sind  
30 nicht mehr weich und die Sehbereiche sind stark einge-  
schränkt. Ferner erkennt man die Verschiebung der Haupt-

blicklinie gegenüber der alten Haupt- bzw. Hauptblicklinie.

Fig. 3 zeigt folgende Individualparameter: Sphäre = -3,5  
5 dpt; Addition = 2,0 dpt; Verordneter Zylinder = 1 dpt;  
Achslage = 20 Grad;  
Wirkung in den Bezugspunkten in der Gebrauchsstellung;  
Prisma vertikal = -0,5 cm/m; Prisma horizontal = 1,0  
cm/m; Pupillendistanz = 72 mm; Hornhautscheitelabstand =  
10 19 mm; Augendrehpunktsabstand = 32,5 mm; Vorneigung = 11  
Grad; Fassungsscheibenwinkel (Seitenneigung) = 1 Grad;  
Mittendicke = 2 mm; Durchmesser = 70 mm; Dickenredukti-  
onsprisma = 1,0 cm/m; Material = Perfalit 1,6 n = 1,597;  
Objektabstand in der Ferne = 0 dpt; Objektabstand in der  
15 Nähe = - 1000/380 mm; Basiskurve sph = 3,7 dpt.

In Fig. 3 ist deutlich zu erkennen, dass die Isolinien  
wieder symmetrisch zur Hauptlinie verlaufen, die Übergän-  
ge wieder weicher und die Sehbereiche deutlich erweitert  
20 sind. Auch erkennt man die Verschiebung der Hauptblickli-  
nie gegenüber der alten Haupt- bzw. der Hauptblicklinie  
und ferner, dass die Isolinien nun symmetrisch zur neuen  
Hauptblicklinie verlaufen.

**PATENTANSPRÜCHE**

- 5    1. Verfahren zum Berechnen eines individuellen  
Progressivglases,

gekennzeichnet durch die folgenden Schritte:

- 10       - Erzeugen eines oder mehrerer Grunddesigns an Brill-  
          lengläsern anhand theoretischer Vorgaben,  
          - Erzeugen von Startdesigns aus diesen Grunddesigns,  
          - Berechnen von individuellen Progressivgläsern aus  
          den Startdesigns, die individuellen Daten von Tra-  
15       geversuchspersonen entsprechen,  
          - Erstellen der endgültigen Startdesigns für die Pro-  
          duktion und  
          - Berechnen der individuellen Brillengläser aus den  
          Startdesigns nach individuellen Kundendaten.

20

2. Verfahren nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
das Berechnen der individuellen Brillengläser aus den  
Startdesigns nach individuellen Kundendaten gemäß fol-  
25       gender Schritte erfolgt:

- Auswahl einer Startfläche aus dem Startdesign,  
          - Ersetzen der Standardwerte durch individuelle Kun-  
          dendaten,

- Berechnen des Objektabstands- und Akkomodationsmodells,
- Anordnen des Brillenglases gegenüber dem Auge nach den Individualparametern,
- 5 - Berücksichtigen der neuen Brillenglasparameter,
- Berechnen einer torischen, vorzugsweise atorischen Überlagerungsfläche,
- Umwandeln der atorischen Überlagerungsfläche in einen Optimierungsspline,
- 10 - Berechnen der neuen Hauptblicklinie,
- Interpolation und Transformation der Sollvorgaben,
- Optimieren des individuellen Brillenglases und
- Erweitern der progressiven Fläche.

15

### ZUSAMMENFASSUNG

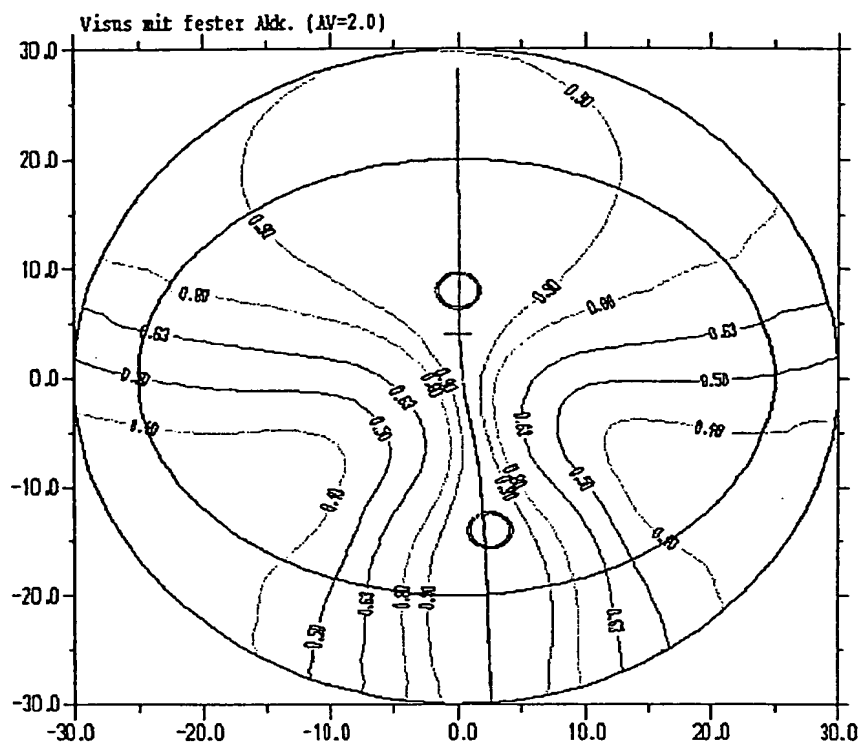
5        Beschrieben wird ein Verfahren zum Berechnen eines  
         individuellen Progressivglases.

         Die Erfindung zeichnet sich durch folgende Schritte  
         aus:

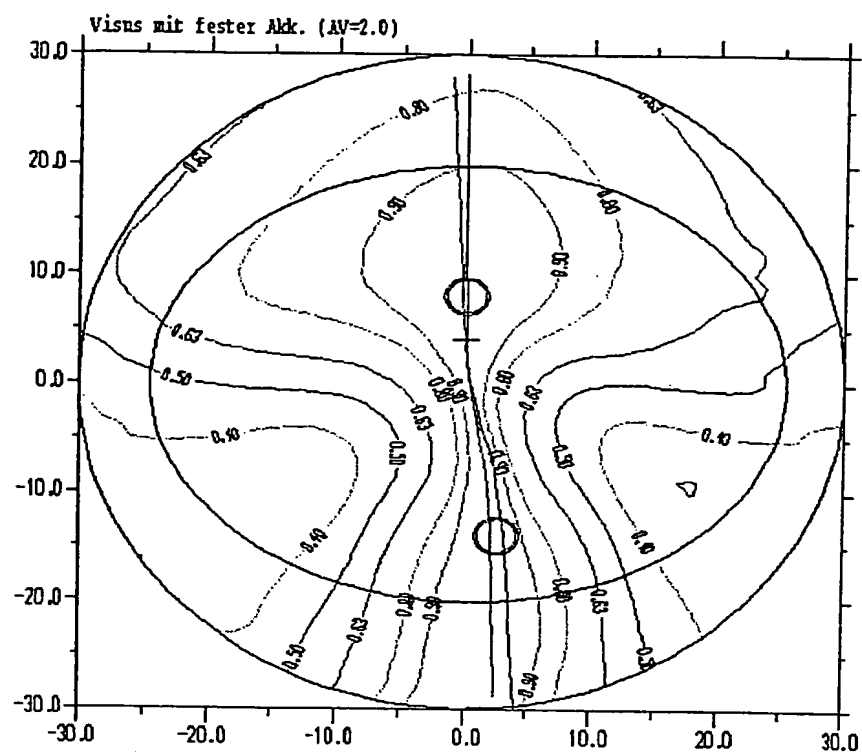
10

- Erzeugen eines oder mehrerer Grunddesigns an Brillengläsern anhand theoretischer Vorgaben,
- Erzeugen von Startdesigns aus diesen Grunddesigns,
- Berechnen von individuellen Progressivgläsern aus  
15        den Startdesigns, die individuellen Daten von Trägerversuchspersonen entsprechen,
- Erstellen der endgültigen Startdesigns für die Produktion und
- Berechnen der individuellen Brillengläser aus den  
20        Startdesigns nach individuellen Kundendaten.

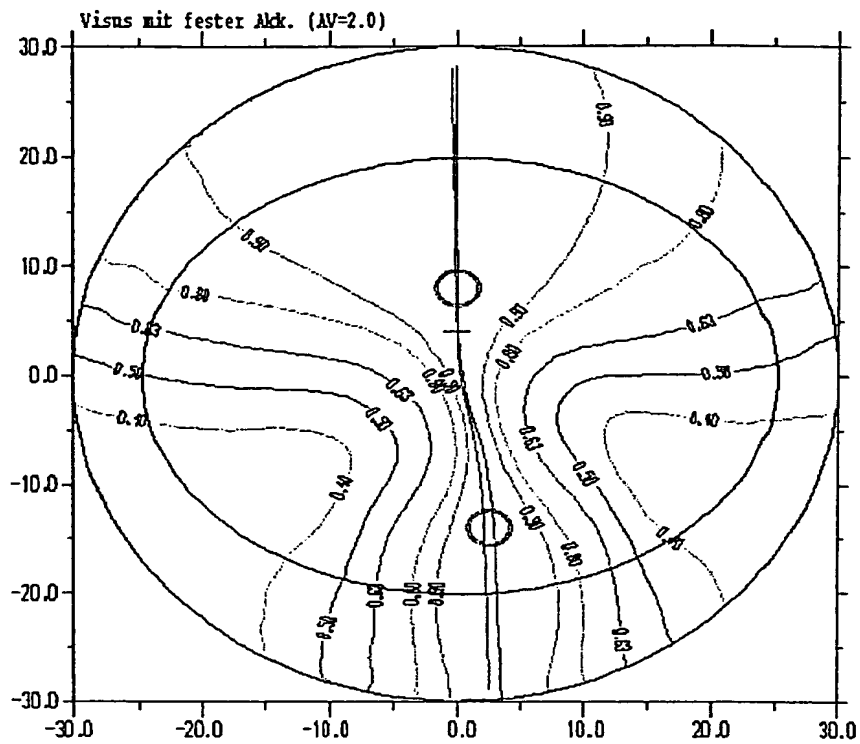
Figur 1



Figur 2



Figur 3







Figur 5:

